

民用飞机客舱地板横梁结构研究

Research on Cabin Floor Crossbeam Structure for Commercial Aircraft

孙洁琼 / Sun Jieqiong

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110000)

(AVIC SAC Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110000, China)

摘要:

客舱地板梁结构是民用飞机机身结构的重要组成部分,其中地板横梁承担着旅客及座椅的载荷,需要分别与地板纵梁、支柱和机身框连接,是比较关键的结构。对典型机型的地板横梁结构形式和材料进行了介绍,并分析优缺点,最后对民用飞机地板横梁结构方案进行了总结。为民用飞机客舱地板梁概念设计提供参考和借鉴。

关键词:民用飞机;客舱地板梁结构;地板横梁;概念设计;材料

中图分类号:V223

文献标识码:A

[Abstract] The cabin floor support structure is one of the important segments on commercial aircraft fuselage. The floor crossbeam takes the loads between passengers and seats, which has to be attached to seat track, post and fuselage frame. This paper introduces the typical crossbeam structure and used material, and analyzes the positive and negative properties. At last, the conclusion of the crossbeam structure concept was given. The research could provide a useful reference to civil aircraft structure design.

[Key words] commercial aircraft; cabin floor support structure; crossbeam; concept design; material

0 引言

客舱地板梁结构是民用飞机机身结构不可缺少的组成部分,一般由地板横梁、纵梁(含座椅滑轨)、支柱和侧向泄压结构组成^[1]。其中地板横梁承担着旅客及座椅的载荷,需要分别与地板纵梁、支柱和机身框连接,是比较关键的结构。

相对于机身其它部分,地板梁结构功能明确、受力清晰,周围相关结构较少,通常不会因其造成灾难性事故。但地板梁结构尤其是地板横梁结构,零件截面形状基本恒定、长度较长、数量较多,选择合适的结构形式和材料,能够节省工时、减轻重量、并显著提高生产效率和产品稳定性,最终降低成本。本文对多个典型机型的地板横梁结构进行分析和总结,旨在为国内民用飞机结构设计提供参考。

1 受力分析

与机身其它结构相比,地板梁结构的受力相对

简单,主要承受客舱(包括座椅、旅客、小车等)垂直向下的载荷。由于增压载荷的存在,在横梁和框、支柱和框的连接处,机身框有向外膨胀的趋势,横梁和支柱受到拉伸,因此这两处需要考虑疲劳问题,如图1所示。支柱的存在能够降低横梁上的弯矩;地板纵梁(含座椅滑轨)不但起加强构件的作用,并能使座椅承受9g的紧急着陆向前载荷^[1];侧向泄压结构承受飞机坠撞时向前的过载。

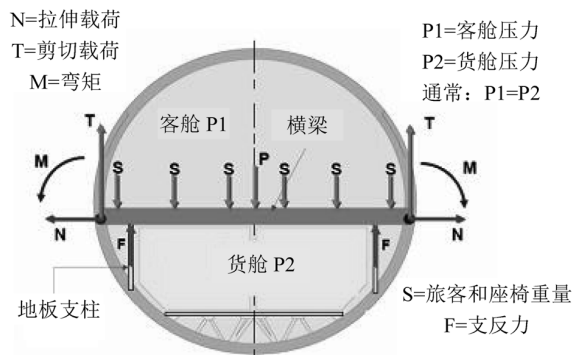


图1 地板梁结构受力示意

地板横梁主要载荷情况为:地板上方乘客和座椅的重力,腹板剪力以及两侧的弯矩。

2 典型机型地板横梁方案介绍

对现有成熟机型的地板横梁结构进行研究,能够发现地板横梁构型的区别主要是截面形式和材料。截面形式主要可分为“C”型、“Z”型和“I”型,而结构材料则有 7000 系和 2000 系传统铝合金、铝锂合金和复合材料等。对比单通道飞机和宽体飞机,地板横梁与座椅滑轨和支柱的连接形式也有较大差异。

2.1 单通道飞机

2.1.1 A320 飞机

A320 飞机是空客公司最成功的单通道飞机,载客为 150 座级,寿命为 48 000 飞行起落。其地板横梁采用 7075-T6511 材料的“C”型截面挤压型材,两端带小凸缘,如图 2 所示。横梁高度为 88.9mm。A320 座椅滑轨直接坐到地板横梁上,连接处横梁背面设计角材,座椅滑轨下缘条与地板横梁上缘条和角材通过四个紧固件进行连接。滑轨下部位置布置加强件;地板横梁腹板面直接与机身框和支柱的腹板连接。“C”型横梁在满足强度要求的前提下,与其它相关结构连接简单,结构重量轻。

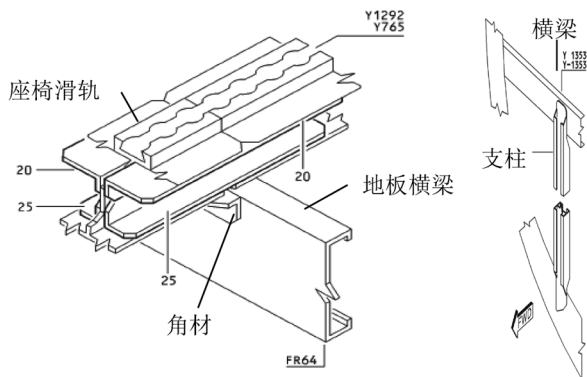


图2 A320 地板横梁及其与座椅滑轨和支柱的连接

2.1.2 波音 737 飞机

波音 737 飞机是波音公司销量最好的单通道飞机,座级为 150 座,寿命为 75 000 飞行起落。其地板横梁采用 7075-T6511 “工”型挤压型材,高度为 139.7mm,腹板上布置纵向加强件,以增加横梁刚度,如图 3 所示。

波音 737 地板横梁与座椅滑轨之间的连接,如图 4 所示。将座椅滑轨下缘条削掉,沉入到地板横梁上部,滑轨顶端与横梁上缘条连接,横梁上布置

角材。这样的设计,可以提高横梁高度,通过腹板开孔来满足系统通过的需要,但会增加一部分重量。

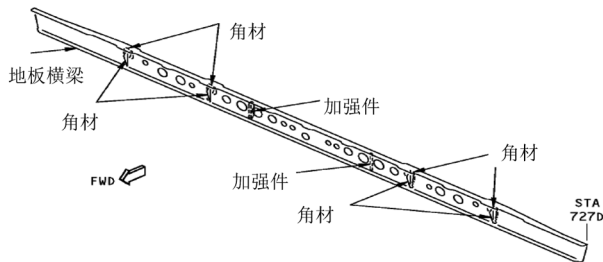


图3 波音 737 地板横梁结构

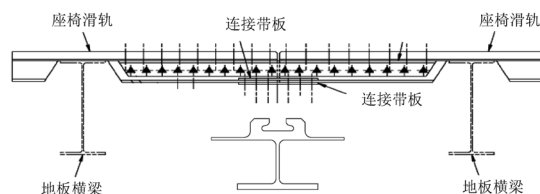


图4 波音 737 地板横梁与座椅滑轨的连接

波音 737 飞机采用无支柱结构设计,地板横梁所承受的向下的正应力,完全由地板横梁和机身框的连接来承受。因此,对横梁本身的刚度要求更高,采用“I”型截面能够满足这一要求。

2.1.3 C 系列飞机

庞巴迪 C 系列飞机是第一款大量采用铝锂合金的单通道飞机。其地板横梁结构同样采用了“I”型截面,高度为 93.98mm。早期地板横梁采用铝锂合金 2196-T8511 挤压型材,两端与机身框连接,下缘条在与地板支柱连接处削掉。截面由“I”型到“J”型,到端头连接处变为“C”型。如图 5 所示。

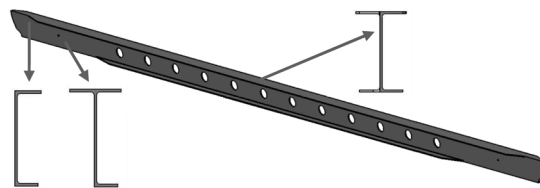


图5 C 系列早期地板横梁结构及截面形状

由于机身结构需要考虑系统通路,而 C 系列机型较小,地板横梁高度较低,采用的是座椅滑轨直接做到横梁上进行连接的结构形式。通常的横梁腹板减轻孔兼做系统通路的方案无法满足,因此地板横梁采用变截面结构,将系统管路布置在地板块与横梁之间,如图 6 所示。变截面并局部加强的地板横梁更改为 7050-T7451 厚板机加结构。

由铝锂合金型材更改为 7050 铝合金机加结构,不仅增加了重量和加工工时,而且材料利用率低、

耐腐蚀性降低。

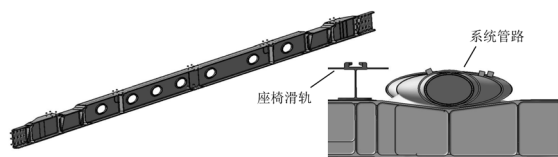


图6 C系列地板横梁变截面结构(含系统管路示意)

2.1.4 Q400 飞机

庞巴迪 Q400 涡桨支线飞机的地板横梁截面为“Z”型,采用 2024 挤压型材制成。纵梁(座椅滑轨)直接坐在横梁上,一侧缘条削掉,通过角片与地板横梁连接。横梁腹板一侧与机身框直接连接,另一侧直接与地板支柱连接,如图 7 所示。这样的设计能够保证地板横梁截面的完整性,但对座椅滑轨的强度有所削弱。“C”型支柱与地板横梁和框的连接都相对简单。

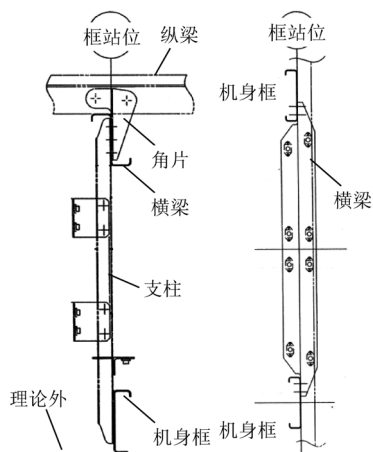


图7 Q400 地板梁结构

2.2 大型宽体客机

2.2.1 波音 787 飞机

波音 787 是世界上第一款全复合材料飞机,其地板梁结构如图 8 所示。横梁同样采用了“I”形截面,材料为 CFRP,座椅滑轨采用钛合金挤压型材。其中横梁与机身框之间通过钛合金接头采用机械连接,支柱与横梁和机身框之间的连接均采用铰接,这样的连接方式对横梁的截面没有影响。

2.2.2 空客 A350

A350 是继波音 787 之后的全复材宽体大型客机。其地板横梁也采用“I”型截面,变高度设计,材料为铝锂合金,采用机加工工艺制造而成,座椅滑轨直接安装到地板横梁上缘条。如图 9 所示。支柱与横梁间采用铰接,与机身框间采用固接。

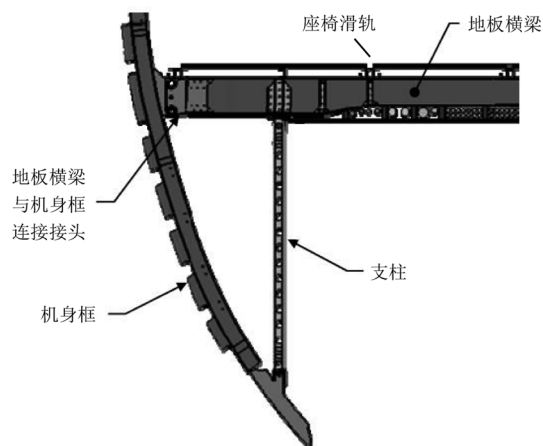


图8 波音 787 地板梁结构



图9 A350 地板横梁形式及其与座椅滑轨的连接

2.2.3 空客 A380

A380 大型客机是目前世界上最大的客机,客舱分为上下双层,其地板横梁也采用“I”型截面,高 250mm。不同的是,上层采用 JAMCO 公司的 CFRP 复合材料通过先进拉挤成形工艺(ADP)制造而成。为保证下层客舱空间,上层地板梁采用无支柱设计,在横梁两侧与框连接区域进行局部加强(用复合材料二次胶接),并用铆钉与框进行连接,可以承受很大的载荷。

下层采用铝锂合金型材(2196 和 2099)^[2],座椅滑轨直接与地板横梁进行连接。地板横梁端头加工成“C”型截面与机身框连接。如图 10 所示。下部地板横梁与支柱采用铰接。

3 主要方案的比较和总结

从前述介绍可以看出有机型地板梁结构方案既有区别,也有共同的地方,见表 1。

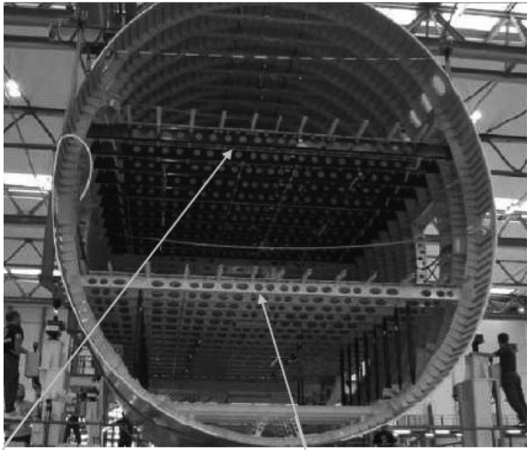


图 10 A380 地板梁结构

表 1 各机型地板横梁方案比较

机型	座级	地板横梁	横梁与纵梁连接	横梁与支柱连接
A320	150	“C”型挤压型材,带小凸缘,7075-T6511	直接连接	直接连接
B737-800	150	“I”型挤压型材,7075-T6511	纵梁沉入横梁	无支柱
CS100	110	“I”型厚板机加,7050-T7451	直接连接	削掉下缘条连接
Q400	78	“Z”型挤压型材,2024	通过角片连接	直接连接
A350-800	270	“I”型挤压型材,铝锂合金	直接连接	铰接
A380	500	“I”型,上层 CFRP,下层铝锂合金	直接连接	上层无支柱,下层铰接
B787-8	270	“I”型,CFRP	直接连接	铰接

综合上述分析,对地板横梁结构总结如下:

(1)单通道客机包括支线飞机,采用“C”型截面横梁,既能够满足强度要求,也能够满足连接要求,制造和装配容易实现,节省成本。

(2)C系列地板横梁采用了“I”型截面,在与支柱连接的位置削减为“J”型,与框连接处削减为“C”型,载荷大处截面变小,不是高效的设计。与“C”型和“J”型截面相比,不仅浪费了材料且增加了重量。采用滑轨和横梁直接连接方案,横梁高度不能够满足腹板开孔供系统管路通过,只有局部降低横梁高度使系统管路从横梁上部通过;不仅降低了横梁局部的承载能力,同时导致横梁不得不采用机加整

体结构,相比挤压型材浪费了大量材料,并增加了制造时间和成本。

(3)大型宽体飞机普遍采用“I”型截面横梁,结构刚度大,承载能力强。与机身框通过接头连接,与支柱采用铰接,都不会削弱横梁截面,是比较合理的设计;采用挤压型材相比厚板机加,不仅力学性能优异,而且能够节省制造工时,降低成本。

(4)对于“I”型截面横梁,采用座椅滑轨沉入横梁的连接方式,能够降低横梁和滑轨的整体高度,增加货舱空间;也可以相应增加横梁高度,使减孔满足系统通路要求,但对滑轨结构本身强度造成一定削弱。

(5)地板横梁结构从普遍采用7000系列铝合金到开始使用铝锂合金,不仅是材料工艺的进步,也为设计提供了更多可能。铝锂合金比强度高,可实现减重,其疲劳和耐腐蚀性也大大优于普通铝合金,用在位于腐蚀区域的地板梁结构上,具有明显的优势。

(6)随着复合材料在民用飞机机体上的大量应用,CFRP也开始应用在地板梁结构上。复合材料地板横梁重量轻、耐腐蚀性好,没有疲劳问题,但耐冲击性差,需要重点考虑飞机坠撞工况下的过载。A380和波音787都在这个方面具备了一定的经验,虽然采用的制造工艺不同,但也意味着复合材料成为地板横梁材料的新选择。

4 结论

客舱地板梁结构是民用飞机机身结构的重要组成部分,熟悉其受力特点和典型机型的设计方案,能够为其他机型的设计提供经验和设计思路,提高设计效率,实现减重和降低成本。需要注意的是,任何一个方案的最终确定,都需要进行多方面的衡量和分析比较,通过权衡研究选择其中最合适的作为基本方案,并在设计过程中,根据实际情况不断进行优化,以获得最佳设计。

参考文献:

- [1] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社,2008.
- [2] 陈亚莉. A350XWB的选材思路及特点[J]. 国际航空, 2009(3):69-72.